

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-091665
(43)Date of publication of application : 31.03.2000

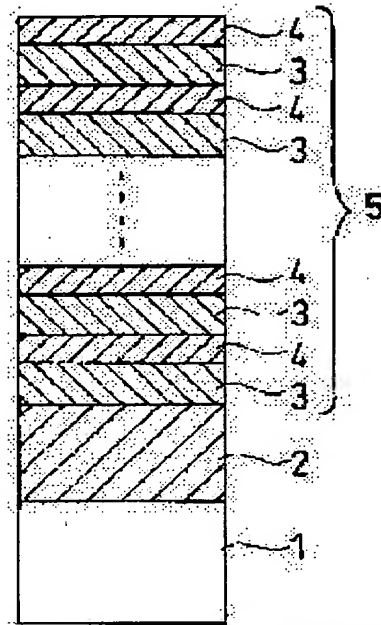
(51)Int.Cl. H01L 43/08
H01F 10/32
H01F 41/30
H01L 43/12

(21)Application number : 10-254474 (71)Applicant : NEC CORP
(22)Date of filing : 09.09.1998 (72)Inventor : KONDO TAKU

(54) MAGNETORESISTANCE EFFECT FILM AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To raise a magnetic field sensitivity by lowering a saturation magnetic field with no dropping in the magnetoresistance ratio of an artificial lattice film where the antiferromagnetic interaction works between magnetic layers. SOLUTION: When a magnetic layer 3 is made into a single crystal, cubic magnetocrystalline anisotropy with four-fold symmetry in the thin film plane is generated due to a crystal magnetocrystalline anisotropy. By applying a magnetic field in axis the direction of easy axis of magnetization within the thin film plane, the magnetic field where magnetization saturates becomes a minimum. The magnetic thin-film 3 which is a single crystal and a non-magnetic metal thin-film 4 are alternately laminated to form an artificial lattice film 5, so that the saturation magnetic field of magnetoresistance ratio is lowered. The magnetoresistance ratio is determined by the type of the magnetic layer 3 and does not change even if the crystallinity of the magnetic layer 3 changes. So, the magnetoresistance ratio does not fall.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.09.1998
[Date of sending the examiner's decision of rejection] 04.12.2001
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-91665
(P2000-91665A)

(43)公開日 平成12年3月31日(2000.3.31)

(51)IntCl ⁷	識別記号	F I	テマコード(参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/32		H 0 1 F 10/08	A
	41/30		41/18 A
H 0 1 L 43/12		H 0 1 L 43/12	

審査請求 有 請求項の数28 O L (全 11 頁)

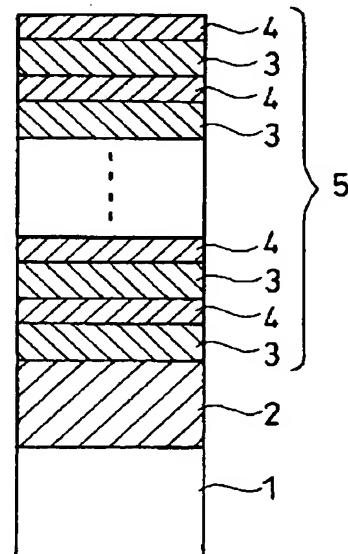
(21)出願番号	特願平10-254474	(71)出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22)出願日	平成10年9月9日(1998.9.9)	(72)発明者	近藤 卓 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
		(74)代理人	100088812 弁理士 ▲柳▼川 信
		Fターム(参考)	5E049 AA01 AA04 AC00 AC03 AC05 BA12 BA16 EB06

(54)【発明の名称】 磁気抵抗効果膜及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 磁性層間に反強磁性相互作用が働く人工格子膜の磁気抵抗比を下げることなく、飽和磁場を下げて磁場感度を上げること。

【解決手段】 磁性層3を単結晶化する。磁性層3を単結晶化したとき結晶磁気異方性により薄膜面内に4回対称の立方磁気異方性が生じる。その薄膜面内の磁化容易軸方向に磁場を印加することにより、磁化の飽和する磁場が最小となる。この単結晶化した磁性薄膜3と非磁性金属薄膜4を交互に積層して人工格子膜5を形成することによって、磁気抵抗比の飽和磁場を下げるができる。又、磁気抵抗比は磁性層3の種類によって決まり、磁性層3の結晶性が変わっても変化しない。従って、磁気抵抗比が下がることもない。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁性層と非磁性層とを交互に積層させた人工格子膜を含む磁気抵抗効果膜であって、前記磁性層は単結晶化された磁性層で形成されることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項 2】 前記非磁性層は単結晶化された非磁性層で形成されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 3】 基板と、この基板上に設けられたバッファ層と、このバッファ層上に設けられた前記人工格子膜とからなることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 4】 前記バッファ層は材質の異なる第 1 及び第 2 バッファ層からなることを特徴とする請求項 3 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 5】 前記バッファ層は体心又は面心立方格子金属の単結晶膜で形成され、前記磁性層及び非磁性層は立方格子金属の単結晶膜で形成されることを特徴とする請求項 3 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 6】 前記第 1 バッファ層は体心又は面心立方格子金属の単結晶膜で形成され、前記第 2 バッファ層は立方格子金属の単結晶膜で形成され、前記磁性層及び非磁性層は立方格子金属の単結晶膜で形成されることを特徴とする請求項 4 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 7】 前記基板は酸化マグネシウム (MgO) 単結晶で形成され、前記バッファ層は鉄 (Fe) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項 3 又は 5 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 8】 前記基板はシリコン (Si) 単結晶で形成され、前記バッファ層はクロム (Cr) で形成され、前記磁性層は鉄 (Fe) で形成され、前記非磁性層はクロム (Cr) で形成されることを特徴とする請求項 3 又は 5 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 9】 前記基板は酸化マグネシウム (MgO) 単結晶で形成され、前記第 1 バッファ層は鉄 (Fe) で形成され、前記第 2 バッファ層は銅 (Cu) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項 4 又は 6 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 10】 前記基板はシリコン (Si) 単結晶で形成され、前記第 1 バッファ層はクロム (Cr) で形成され、前記第 2 バッファ層は銅 (Cu) で形成され、前記磁性層は鉄 (Fe) で形成され、前記非磁性層はクロム (Cr) で形成されることを特徴とする請求項 4 又は 6 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 11】 前記基板は酸化マグネシウム (MgO) 単結晶で形成され、前記バッファ層は白金 (Pt) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴

とする請求項 3 又は 5 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 12】 前記基板はシリコン (Si) 単結晶で形成され、前記バッファ層はパラジウム (Pd) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項 3 又は 5 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 13】 前記基板は酸化マグネシウム (MgO) 単結晶で形成され、前記第 1 バッファ層は白金 (Pt) で形成され、前記第 2 バッファ層は銅 (Cu) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項 4 又は 6 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 14】 前記基板はシリコン (Si) 単結晶で形成され、前記第 1 バッファ層はパラジウム (Pd) で形成され、前記第 2 バッファ層は銅 (Cu) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項 4 又は 6 記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項 15】 磁性層と非磁性層とを交互に積層させた人工格子膜を含む磁気抵抗効果膜の製造方法であって、前記磁性層を単結晶化する第 1 工程を含むことを特徴とする磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 16】 前記第 1 工程には非磁性層を単結晶化することとも含まれることを特徴とする請求項 15 記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 17】 前記第 1 工程は、基板を加熱する第 2 工程と、この第 2 工程の次に前記基板上にバッファ層を形成する第 3 工程と、この第 3 工程の次に前記バッファ層上に単結晶化された前記磁性層及び前記非磁性層を形成する第 4 工程とからなることを特徴とする請求項 15 又は 16 記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 18】 前記第 3 工程は第 1 バッファ層を形成する第 5 工程と、第 2 バッファ層を形成する第 6 工程とからなることを特徴とする請求項 17 記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 19】 前記第 3 工程にて形成されたバッファ層は体心又は面心立方格子金属の単結晶膜であり、前記第 4 工程にて形成された磁性層及び非磁性層は立方格子金属の単結晶膜であることを特徴とする請求項 17 記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 20】 前記第 5 工程にて形成された第 1 バッファ層は体心又は面心立方格子金属の単結晶膜であり、前記第 6 工程にて形成された第 2 バッファ層は立方格子金属の単結晶膜であり、前記第 4 工程にて形成された磁性層及び非磁性層は立方格子金属の単結晶膜であることを特徴とする請求項 18 記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項 21】 前記基板は酸化マグネシウム (MgO) 単結晶で形成され、前記バッファ層は鉄 (Fe) で

10

20

30

40

50

形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項17又は19記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項22】 前記基板はSi単結晶で形成され、前記バッファ層はクロム (Cr) で形成され、前記磁性層は鉄 (Fe) で形成され、前記非磁性層はクロム (Cr) で形成されることを特徴とする請求項17又は19記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項23】 前記基板は酸化マグネシウム (MgO) 単結晶で形成され、前記第1バッファ層は鉄 (Fe) で形成され、前記第2バッファ層は銅 (Cu) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項18又は20記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項24】 前記基板はシリコン (Si) 単結晶で形成され、前記第1バッファ層はクロム (Cr) で形成され、前記第2バッファ層は銅 (Cu) で形成され、前記磁性層は鉄 (Fe) で形成され、前記非磁性層はクロム (Cr) で形成されることを特徴とする請求項18又は20記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項25】 前記基板は酸化マグネシウム (MgO) 単結晶で形成され、前記バッファ層は白金 (Pt) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項17又は19記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項26】 前記基板はシリコン (Si) 単結晶で形成され、前記バッファ層はパラジウム (Pd) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項17又は19記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項27】 前記基板は酸化マグネシウム (MgO) 単結晶で形成され、前記第1バッファ層は白金 (Pt) で形成され、前記第2バッファ層は銅 (Cu) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項18又は20記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【請求項28】 前記基板はシリコン (Si) 単結晶で形成され、前記第1バッファ層はパラジウム (Pd) で形成され、前記第2バッファ層は銅 (Cu) で形成され、前記磁性層はコバルト (Co) で形成され、前記非磁性層は銅 (Cu) で形成されることを特徴とする請求項18又は20記載の磁気抵抗効果膜の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は磁気抵抗効果膜及びその製造方法に関し、特に磁気センサや薄膜磁気ヘッド等に用いられる磁気抵抗効果膜及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 印加磁場により抵抗が変化する磁気抵抗効果膜を利用した磁気抵抗効果膜は、磁場検出用センサや磁気ヘッド等に用いられている。現在のところ、磁気抵抗効果膜には、パーマロイを中心とした磁性合金薄膜が用いられている。

【0003】 この磁気抵抗効果膜は、電流方向と磁化方向の相対角度に依存して生じる抵抗の差を利用したものであるが、その磁気抵抗比は3~4%程度と小さく、高感度化のためには、より磁気抵抗比の大きな材料が望まれている。

【0004】 このような材料の中で、コバルト (Co)、鉄 (Fe) 等の磁性層と銅 (Cu)、クロム (Cr) 等の非磁性層を数ナノメートルの周期で交互に積層した人工格子膜は、磁気抵抗比がパーマロイより1桁以上大きく、磁気抵抗効果素子への応用が期待されている。

【0005】 Co/CuやFe/Crなどの人工格子膜では、非磁性層の厚さが約1nmであるとき、磁性層間に反強磁性相互作用が働き、磁性層の磁化が一層おきに逆方向を向く (反強磁性配列)。

【0006】 磁気抵抗効果は、この磁化の反強磁性配列が磁場の印加によって強磁性配列に変化することによって生じる。反強磁性配列の時の抵抗を R_{max} 、強磁性配列の時の抵抗を R_{min} として表わされる磁気抵抗比 $(R_{max} - R_{min}) / R_{min}$ は、Co/Cu人工格子膜においては、室温で65%以上に達する。

【0007】 この技術は「1991年6月10日、アプライド・フィジックス・レター、第58巻、第23号、第2710~2712頁 (S. S. P. Parkin et al., Appl. Phys. Lett., P. 2710, VOL. 58, NO. 23, 1991)」 (以下、文献1という) に開示されている。

【0008】 又、磁性層と非磁性層とを交互に積層させて得られる磁気抵抗素子の他の例が特開平7-211955号公報 (以下、文献2という) 及び特開平6-295818号公報 (以下、文献3という) に開示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、文献1に示される磁性層間に反強磁性相互作用が働く人工格子膜は、磁気抵抗の飽和する (強磁性配列になる) 磁場が室温で数kOe~10kOeと大きく、高い磁場感度が必要とされる磁気センサや磁気ヘッドに適用することは困難であった。

【0010】 一方、人工格子膜の磁場感度を上げる試みとしては、磁性層の金属を軟磁性体のパーマロイ (NiFe) やニッケル鉄コバルト合金 (NiFeCo) に変えるという方法が「1993年、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス、第74巻、第4096頁 (K.

Inomata et al., J. Appl. Phys., P. 4096, VOL. 74, 1993)」（以下、文献4という）、「1993年、ジャーナル・オブ・マグネティズム・アンド・マグネティック・マテリアルズ、第121巻、第374頁（H. Sakakima et al., J. Magn. Magn. Mater., P. 374, VOL. 121, 1993)」（以下、文献5という）が開示されているが、これら文献4及び5の技術では磁場感度は改善しても、磁気抵抗比が下がるという問題があった。

【0011】又、人工格子膜の大きな磁気抵抗比を保ちつつ、その飽和磁場を小さくするための手段として、膜面内に一軸磁気異方性を導入することが提案されている。

【0012】例えば、Fe/Cr人工格子膜の成膜時に永久磁石により膜面内に1000e程度の磁場を印加し、膜面内に一軸磁気異方性を導入する方法が特開平4-212402号公報（以下、文献6という）に開示され、（110）面をエピタキシャル成長させたFe/Cr人工格子膜に生ずる微細構造に由来する形状磁気異方性により膜面内に一軸磁気異方性を導入する方法が「1993年、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス、第73巻、第3922頁（W. Folkerts and F. Hakkens, J. Appl. Phys., P. 3922, VOL. 73, 1993)」（以下、文献7という）に開示されている。

【0013】しかしながら、文献6の磁場中成膜により一軸磁気異方性を導入して飽和磁場を下げる方法では、導入しない時の飽和磁場を半減させる程度しか効果がなく、又、文献7の微細構造により一軸磁気異方性を導入して飽和磁場を下げる方法では、使用できる磁性金属が制限されるという問題があった。

【0014】なお、文献2及び3にもこれらの問題点を解決する手段は開示されていない。

【0015】このように、従来の技術では、磁性層間に反強磁性相互作用が働く人工格子膜の磁気抵抗比を下げることなく、飽和磁場を下げて磁場感度を上げることができないという問題点があった。

【0016】そこで本発明の目的は、磁性層間に反強磁性相互作用が働く人工格子膜の磁気抵抗比を下げることなく、飽和磁場を下げて磁場感度を上げることができる磁気抵抗効果膜及びその製造方法を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために本発明は、磁性層と非磁性層とを交互に積層させた人工格子膜を含む磁気抵抗効果膜であって、前記磁性層は単結晶化された磁性層で形成されることを特徴とする。

【0018】本発明による他の発明は、磁性層と非磁性層とを交互に積層させた人工格子膜を含む磁気抵抗効果

膜の製造方法であって、その方法は前記磁性層を単結晶化する第1工程を含むことを特徴とする。

【0019】本発明及び本発明による他の発明によれば、磁性層を単結晶化したとき結晶磁気異方性により薄膜面内に4回対称の立方磁気異方性が生じる。その薄膜面内の磁化容易軸方向に磁場を印加することにより、磁化の飽和する磁場が最小となる。この単結晶化した磁性薄膜と非磁性金属薄膜を交互に積層して人工格子膜を形成することによって、磁気抵抗比の飽和磁場を下げるることができる。

【0020】又、磁気抵抗比は磁性層の種類によって決まり、磁性層の結晶性が変わっても変化しない。従って、磁気抵抗比が下がることもない。

【0021】なお、前述の文献4では、磁性層そのものを変えて飽和磁場を下げていたので磁気抵抗比が下がる場合がある。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について添付図面を参照しながら説明する。まず、第1の実施の形態について説明する。図1は本発明に係る磁気抵抗効果膜の第1の実施の形態の断面図である。

【0023】図1を参照して、磁気抵抗効果膜は基板1と、この基板1上に設けられた第1バッファ層2と、この第1バッファ層2上に設けられた人工格子膜5とからなる。

【0024】そして、人工格子膜5は単結晶化された磁性層3と非磁性層4を交互に複数回積層して形成されている。

【0025】なお、バッファ層は、複数の金属からなる多層膜でもよい。又、磁性層3の単結晶性を高めるには、非磁性層4の単結晶化も不可欠であり、そのためには、基板1、バッファ層2の選択の最適化が必要である。

【0026】次に、第2の実施の形態について説明する。第2の実施の形態は磁気抵抗効果膜の製造方法に関するものである。図2は第2の実施の形態の処理工程を示すフローチャートである。

【0027】図2を参照して、まず単結晶基板1を200℃～700℃に加熱する（S1）。次に、この単結晶基板1上に第1バッファ層2として2nm～10nmの体心立方格子金属または面心立方格子金属の単結晶膜を形成する（S2）。

【0028】次に、この単結晶基板1及び第1バッファ層2を250℃～750℃で3～7時間真空焼鈍する（S3）。

【0029】次に、第2バッファ層6を形成する場合は（S4にてイエスの場合）、第1バッファ層2上に第2バッファ層6として室温で5nm～20nmの立方格子金属の単結晶膜を形成する（S5）。

【0030】次に、第2バッファ層6上に立方格子金属

10

20

30

40

50

の単結晶膜からなる磁性層と非磁性層のペアを10～50回積層して人工格子5を形成する(S6)。

【0031】一方、S4にて第2バッファ層6を形成しない場合は(S4にてノーの場合)、S3に続いてS6の処理を行う。

【0032】なお、第2バッファ層6の形成を省略しても本発明の目的は達成される。

【0033】次に、実施例について説明する。

【0034】

【実施例】本発明の実施に当たっては、超高真空電子ビーム蒸着装置(到達真空度は 1×10^{-10} トル)を用いた。図3は超高真空電子ビーム蒸着装置の一例の構成図である。

【0035】超高真空電子ビーム蒸着装置10の真空チャンパー11内には、基板加熱用ヒータ12と、蒸着速度をモニターするための水晶振動子膜厚計13と、基板1上に成長した膜の表面構造評価を行うための反射高速電子線回折(RHEED)用の電子銃14と、蛍光スクリーン15と、シャッタ16～21と、蒸着源22～26(24～26は3連)と、ノーズポンプ27と、導入室28とが設けられている。

【0036】蒸着時の真空度は 10^{-9} トル台であり、膜成長速度は0.01～0.02nm/sとした。

【0037】この超高真空電子ビーム蒸着装置10の機能を簡単に説明すると、まず蒸着源22として磁性層3用の金属、蒸着源23として非磁性層4用の金属、蒸着源24～26として第1及び第2バッファ2、6用の金属が配置される。

【0038】又、基板1はヒータ12により加熱され、この基板1上に第1バッファ層2を形成する場合は、シャッタ19～21のいずれかを開き、蒸着源24～26のいずれかを基板1上に蒸着する。

【0039】次に、第1バッファ層2上に第2バッファ層6を形成する場合も、シャッタ19～21のいずれかを開き、蒸着源24～26のいずれかを第1バッファ層2上に蒸着する。

【0040】次に、第2バッファ層6上に磁性層3を形成する場合は、シャッタ17を開き、蒸着源22を第2バッファ層6上に蒸着する。

【0041】次に、磁性層3上に非磁性層4を形成する場合は、シャッタ18を開き、蒸着源23を磁性層3上に蒸着する。

【0042】磁気抵抗は、室温で磁場を膜面に平行に印加し、直流4端子法により測定した。磁化は、振動試料型磁力計を用いて室温で測定した。磁気トルクは膜面に平行に10kOeの磁場を印加して360度回転させることによって測定した。

【0043】まず、第1実施例について説明する。図4は第1実施例の処理工程を示すフローチャートである。

【0044】超高真空電子ビーム蒸着装置10を用い、

Co/Cu人工格子膜を作製した。

【0045】基板1としてMgO(001)単結晶を用いた。まず、MgO基板1を400℃に加熱する(S11)。

【0046】次に、このMgO基板1上に3.5nmの(体心立方格子金属である)Feバッファ層2を形成する(S12)。

【0047】次に、このMgO基板1及びFeバッファ層2を450℃で5時間真空焼鈍する(S13)。

【0048】次に、室温で7nmの(面心立方格子金属である)Cuバッファ層6をFeバッファ層2上に形成する(S14)。

【0049】次に、室温で膜厚1.7nmの(面心立方格子金属である)Co磁性層3及び膜厚1.2nmの(面心立方格子金属である)Cu非磁性層4のペアを30回Cuバッファ層6上に積層する(S15)。

【0050】以下、得られたこの人工格子膜を試料#1とする。RHEEDパターンとx線回折パターンにより、試料#1が(001)面がエピタキシャル成長した単結晶膜であることを確かめた。

【0051】図5は試料#1の室温でのトルク曲線図である。磁場の初期印加方向($\theta=0$ 度)は、ほぼ[100]方向である。

【0052】このトルク曲線図から、試料#1は、[110]方向を磁化容易軸とする4回対称の立方磁気異方性をもつことが分かる。

【0053】ここで、(001)面、[100]方向及び[110]方向について説明する。これらは結晶学における記号である。

【0054】図6は(001)面、[100]方向及び[110]方向の説明用模式図である。

【0055】同図に示すように(001)面とは、直方体の上面をいい、[100]方向はx軸方向、[010]方向はy軸方向、[001]方向はz軸方向をいい、[110]方向は[010]方向と[100]方向との中間の方向をいう。

【0056】次に、トルク曲線図について補足説明する。図7はトルク曲線図補足説明用模式図である。

【0057】本発明の人工格子5は図7に示すように[110]方向(トルク曲線で45度方向)が磁化容易軸で、さらに90度ずれた方向(トルク曲線で135度方向)も磁化容易軸となる。

【0058】この人工格子5のトルク曲線は図5に示すように45度、135度、225度及び315度でゼロとなり、4回対称の立方磁気異方性を示す。

【0059】図8及び図9は磁場対磁気抵抗比特性図である。図8及び図9は、試料#1の結晶磁気異方性の磁化容易軸方向([110]方向)と磁化困難軸方向

([100]方向)に磁場を印加したときの磁気抵抗比の磁場依存性をそれぞれ示す。なお、測定電流は磁場の

図である。

【図14】低角x線回折パターン図である。

【図15】磁気抵抗比、ロッキングカーブにおける半値幅 $\Delta\omega$ の逆数及び I_0/I_1 の相関を示す図である。

【図16】実施例4の処理工程を示すフローチャートである。

【図17】磁場対磁気抵抗比特性図である。

【図18】磁場対磁気抵抗比特性図である。

【図19】磁場対磁化特性図である。

【図20】磁場対磁化特性図である。

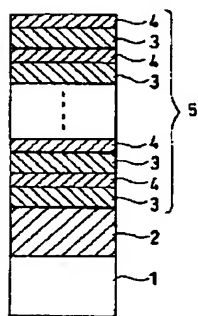
*【図21】磁気抵抗比、飽和磁場等を試料別に記録した図である。

【符号の説明】

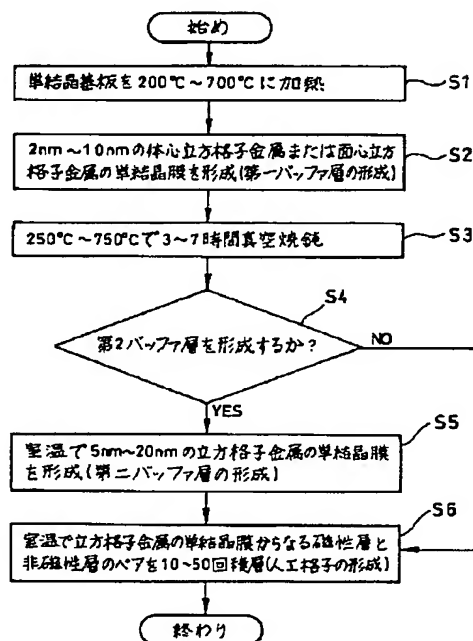
- 1 基板
- 2 第1バッファ層
- 3 磁性層
- 4 非磁性層
- 5 人工格子膜
- 6 第2バッファ層

* 10

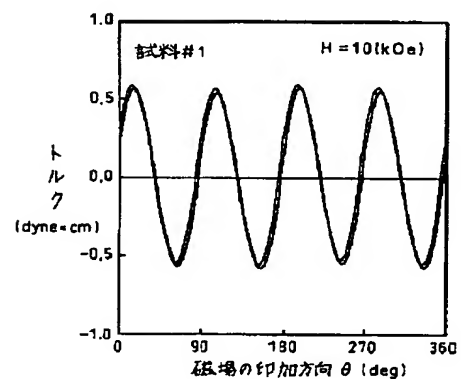
【図1】



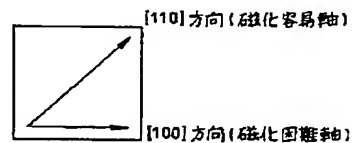
【図2】



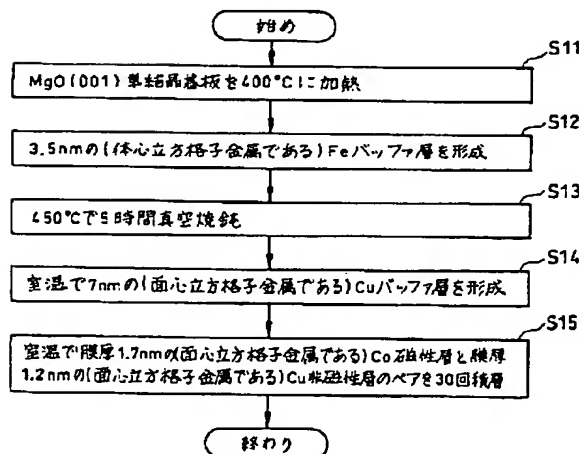
【図5】



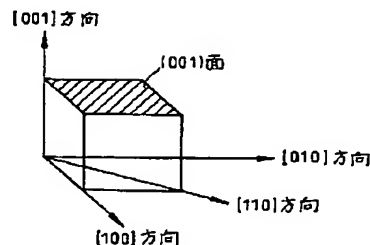
【図7】



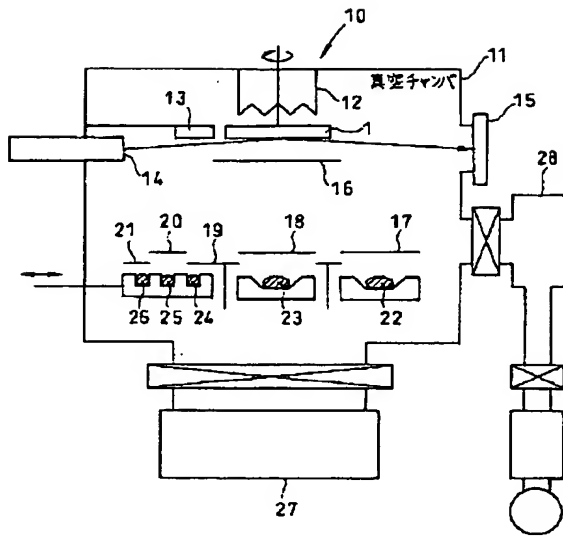
【図4】



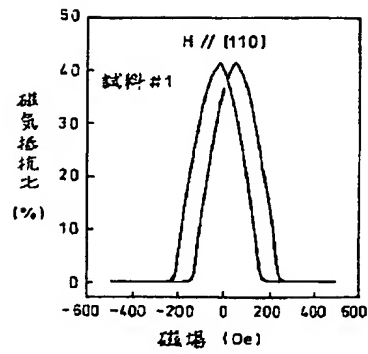
【図6】



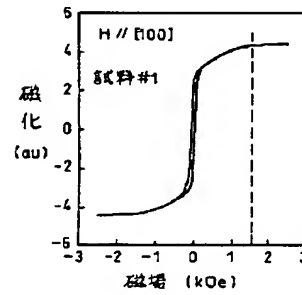
【図3】



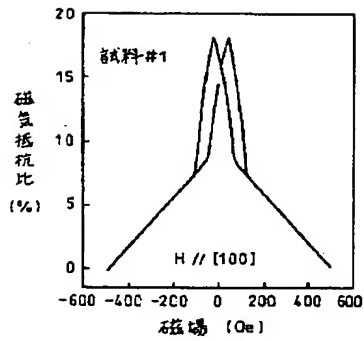
【図8】



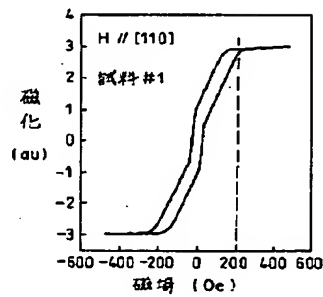
【図11】



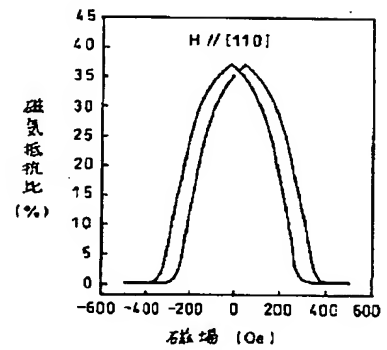
【図9】



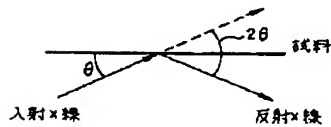
【図10】



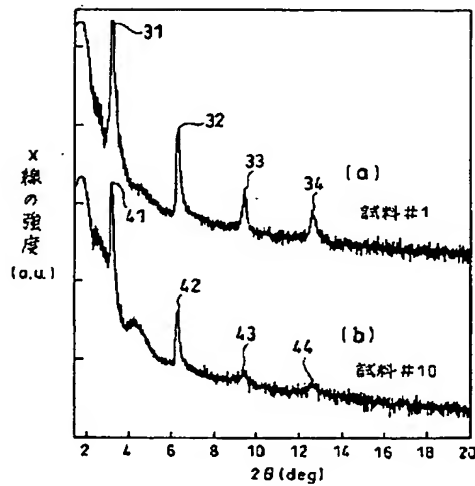
【図17】



【図12】



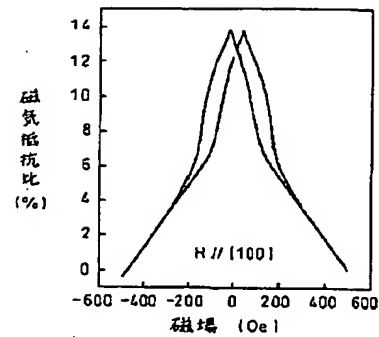
【図14】



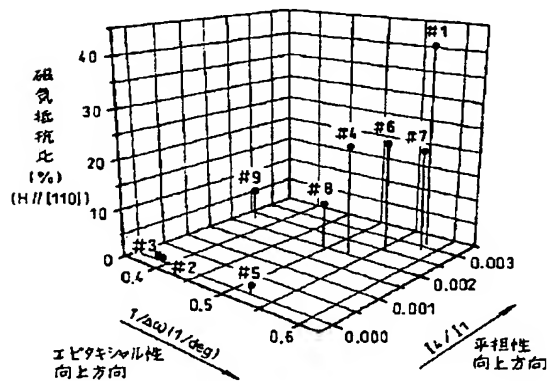
【図 13】

試料番号	$\Delta\omega$ (deg)	l_c/l_1 ($\times 10^{-3}$)	磁気抵抗比 (%)		飽和磁場 (Oe)		異方性 定数 (erg/cc)
			H// [110]	H// [100]	H// [110]	H// [100]	
#1	1.72	3.10	40	28	200	1500	1.2×10^6
#2	2.54	0	1	1	1500	1500	8.0×10^5
#3	2.60	0	0.8	0.6	1500	1500	8.5×10^5
#4	1.89	2.05	27	18	700	1500	4.2×10^5
#5	1.91	0	2.2	2.0	1500	1500	9.0×10^5
#6	1.79	2.45	23	16	500	1500	6.9×10^5
#7	1.70	2.80	20	14	300	1500	9.2×10^5
#8	2.00	1.94	10	4	500	1500	5.8×10^5
#9	2.68	2.25	7	7	600	1500	7.0×10^5

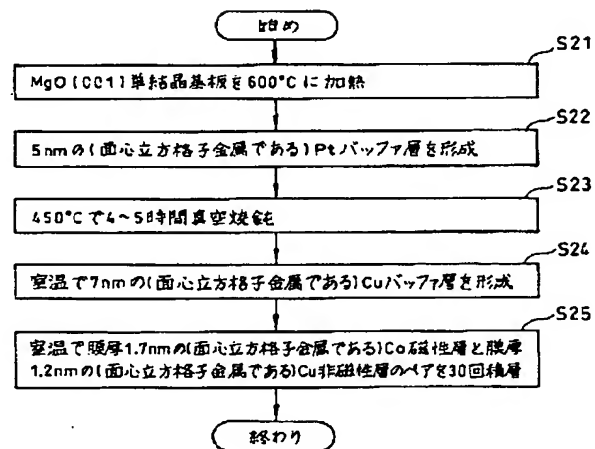
【図 18】



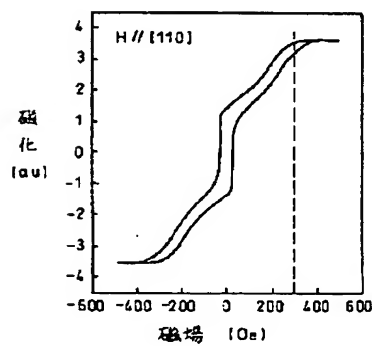
【図 15】



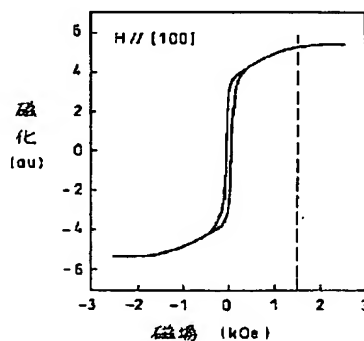
【図 16】



【図 19】



【図 20】



【図 21】

試料番 号	$\Delta \omega$ (deg)	I_L/I_1 ($\times 10^{-3}$)	磁気抵抗比 (%)		飽和磁場 (Oe)		異方性 定数 (erg/cc)
			H// [110]	H// [100]	H// [110]	H// [100]	
#10	1.51	2.84	37	20	300	1500	1.0×10^5
#11	1.70	0	5	1.5	1500	1500	9.0×10^5
#12	1.53	0	6	4	500	1500	8.0×10^5
#13	1.51	0	18	9	500	2500	7.2×10^5
#14	1.97	0	15	8	500	1500	8.0×10^5
#15	1.69	2.42	25	12	300	1500	1.0×10^6